

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>DIN EN 50530<br/>(VDE 0126-12)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>DIN</b> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Diese Norm ist zugleich eine <b>VDE-Bestimmung</b> im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden. | <b>VDE</b> |
| <div>ICS 27.160<div>Einsprüche bis 2009-07-31</div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| <div>Entwurf</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| <div><b>Gesamtwirkungsgrad von Photovoltaik-Wechselrichtern;<br/>Deutsche Fassung FprEN 50530:2008</b></div> <div>Overall efficiency of photovoltaic inverters;<br/>German version FprEN 50530:2008</div> <div>Rendement global des onduleurs photovoltaïques;<br/>Version allemande FprEN 50530:2008</div> <div><b>Anwendungswarnvermerk</b></div> <div>Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-05-11 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</div> <div>Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.</div> <div>Stellungnahmen werden erbeten</div> <div><div><div>–</div><div>vorzugsweise als Datei per E-Mail an <b>dke@vde.com</b> in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <b>www.dke.de/stellungnahme</b> abgerufen werden</div></div><div><div>–</div><div>oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.</div></div></div> <div>Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| <div>Gesamtumfang 63 Seiten</div> <div>DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |

## Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

## Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN 50530:2008 „Gesamtwirkungsgrad von Photovoltaik-Wechselrichtern“ (Schluss-Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und der Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung der FprEN 50530:2008 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Das europäische Dokument FprEN 50530:2008 „Overall efficiency of photovoltaic inverters“ wurde vom TC 82 „Photovoltaische Solarenergiesysteme“ des Europäischen Komitees für Elektrotechnische Normung (CENELEC) erarbeitet und von CENELEC den Nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 373 „Photovoltaische Solarenergie-Systeme“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE ([www.dke.de](http://www.dke.de)) zuständig.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

| Europäische Norm | Internationale Norm | Deutsche Norm                | Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk |
|------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------------------|
| FprEN 50524      | –                   | E DIN EN 50524 (VDE 0126-13) | VDE 0126-13                            |
| EN 61683         | IEC 61683           | DIN EN 61683                 | –                                      |
| CLC/FprTS 61836  | IEC/TS 61836:2007   | –                            | –                                      |

## Nationaler Anhang NB (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN 61683, *Photovoltaische Systeme – Stromrichter – Verfahren zur Messung des Wirkungsgrades*

E DIN EN 50524 (VDE 0126-13), *Datenblatt- und Typschildangaben von Photovoltaik-Wechselrichtern*

## Gesamtwirkungsgrad von Photovoltaik-Wechselrichtern

Overall efficiency of photovoltaic inverters

Rendement global des onduleurs photovoltaïques

Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CENELEC-Mitgliedern zur CENELEC-Umfrage vorgelegt.

CENELEC Termin: 2009-05-15

Er wurde von CLC/TC 82 erstellt.

Wenn aus diesem Norm-Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CENELEC-Mitglieder gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Dieser Europäische Norm-Entwurf wurde von CENELEC in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

Warnvermerk: Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäische Norm in Bezug genommen werden.

## CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung  
European Committee for Electrotechnical Standardization  
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

**Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel**

© 2008 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Projekt: 16862

Ref. Nr. FprEN 50530:2008 D

## Vorwort

Der vorliegende Europäische Norm-Entwurf wurde vom Technischen Komitee CENELEC TC 82 „Solar photovoltaic energy systems“ erarbeitet. Er wird zum Einstufigen Annahmeverfahren (UAP) vorgelegt.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene angekündigt werden muss (doa): dor + 6 Monate
- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): dor + 12 Monate
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): dor + 36 Monate  
(bei der Abstimmung zu bestätigen oder zu modifizieren)

## Inhalt

|                                                                                     | Seite |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Vorwort.....                                                                        | 2     |
| 1 Anwendungsbereich.....                                                            | 5     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                      | 5     |
| 3 Begriffe .....                                                                    | 5     |
| 3.1 Wechselrichtereingang (PV-Generatorausgang) .....                               | 5     |
| 3.2 Wechselrichterausgang (Netzanschluss) .....                                     | 6     |
| 3.3 Gemessene Größen .....                                                          | 6     |
| 3.4 Berechnete Größen .....                                                         | 7     |
| 3.5 Sonstige Begriffe .....                                                         | 8     |
| 4 MPPT-Wirkungsgrad .....                                                           | 8     |
| 4.1 Allgemeine Beschreibung.....                                                    | 8     |
| 4.2 Messschaltung.....                                                              | 9     |
| 4.3 Statischer MPPT-Wirkungsgrad .....                                              | 9     |
| 4.4 Dynamischer MPPT-Wirkungsgrad .....                                             | 11    |
| 4.5 Statischer Umwandlungswirkungsgrad .....                                        | 12    |
| 5 Berechnung des Gesamtwirkungsgrades .....                                         | 14    |
| Anhang A (normativ) Anforderungen an die Messgeräte .....                           | 15    |
| A.1 PV-Modulfeld-Simulator.....                                                     | 15    |
| A.2 Wechselstromversorgung.....                                                     | 16    |
| Anhang B (normativ) Prüfbedingungen für den dynamischen MPPT-Wirkungsgrad .....     | 17    |
| B.1 Prüfprofile .....                                                               | 17    |
| B.2 Testsequenz mit rampenförmigen Änderungen von 10 % bis 50 % $P_{DCn}$ .....     | 18    |
| B.3 Testsequenz mit rampenförmigen Änderungen von 30 % bis 100 % $P_{DCn}$ .....    | 19    |
| B.4 Einschalt- und Ausschaltprüfungen mit langsamen rampenförmigen Änderungen ..... | 19    |
| B.5 Gesamtprüfdauer.....                                                            | 20    |
| Anhang C (normativ) Modelle der $I$ - $U$ -Kennlinie des PV-Generators.....         | 21    |
| C.1 1-Dioden-Modell .....                                                           | 21    |
| C.2 PV-Generator-Modell für MPPT-Leistungsprüfungen .....                           | 22    |
| Anhang D (informativ) Wechselrichter-Wirkungsgrad .....                             | 27    |
| D.1 Allgemeines/Einleitung .....                                                    | 27    |
| D.2 Umwandlungswirkungsgrad .....                                                   | 27    |
| D.3 Wirkungsgrad der MPP-Nachführung .....                                          | 27    |
| D.4 Gesamtwirkungsgrad $\eta_t$ .....                                               | 28    |
| D.5 Schlussfolgerungen .....                                                        | 28    |
| Literaturhinweise.....                                                              | 30    |

## Bilder

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 1 – Beispiel für die Messschaltung des MPPT-Wirkungsgrades .....                                             | 9  |
| Bild B.1 – Testsequenz für Schwankungen zwischen kleinen und mittleren Bestrahlungsstärken.....                   | 17 |
| Bild B.2 – Testsequenz für Schwankungen zwischen mittleren und hohen Bestrahlungsstärken.....                     | 17 |
| Bild B.3 – Testsequenz für die Einschalt- und Ausschaltprüfungen von netzgekoppelten Wechselrichtern.....         | 20 |
| Bild C.1 – Bestrahlungsstärkeabhängige $U$ - $I$ - und $U$ - $P$ -Kennlinie eines cSi-PV-Generators .....         | 24 |
| Bild C.2 – Bestrahlungsstärkeabhängige $U$ - $I$ - und $U$ - $P$ -Kennlinie eines Dünnschicht-PV-Generators ..... | 25 |

**Tabellen**

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1 – Messbedingungen für den statischen MPPT-Wirkungsgrad.....                                                            | 10 |
| Tabelle 2 – Messbedingungen für den Umwandlungswirkungsgrad .....                                                                | 12 |
| Tabelle A.1 – Allgemeine Anforderungen an die simulierte <i>I-U</i> -Kennlinie des PV-Modulfeldes .....                          | 15 |
| Tabelle B.1 – Dynamische MPPT-Prüfung 10 % $\Rightarrow$ 50 % (zulässig für die Bewertung von<br>$\eta_{\text{MPPTdyn}}$ ).....  | 18 |
| Tabelle B.2 – Dynamische MPPT-Prüfung 30 % $\Rightarrow$ 100 % (zulässig für die Bewertung von<br>$\eta_{\text{MPPTdyn}}$ )..... | 19 |
| Tabelle B.3 .....                                                                                                                | 19 |
| Tabelle C.1 – Technologieabhängige Parameter .....                                                                               | 22 |
| Tabelle C.2 – Technologieabhängige Parameter .....                                                                               | 23 |
| Tabelle C.3 – Mit dem cSi-PV-Generator ermittelte MPP-Werte .....                                                                | 23 |
| Tabelle C.4 – Mit dem Dünnschicht-PV-Generator ermittelte MPP-Werte .....                                                        | 26 |

## 1 Anwendungsbereich

In dieser Europäischen Norm wird ein Messverfahren für die Genauigkeit des Nachführens auf den Punkt der maximalen Leistung (en: maximum power point tracking – MPPT) von Wechselrichtern angegeben, die in netzgekoppelten Systemen eingesetzt werden. In diesem Fall speist der Wechselrichter ein Niederspannungsnetz mit stabiler Wechselspannung und konstanter Frequenz. Dabei werden der statische und der dynamische Wirkungsgrad betrachtet.

Der Gesamtwirkungsgrad des Wechselrichters wird basierend auf dem statischen MPPT-Wirkungsgrad und dem Umwandlungswirkungsgrad berechnet. Der dynamische MPPT-Wirkungsgrad wird gesondert angegeben.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 61683, *Photovoltaische Systeme – Stromrichter – Verfahren zur Messung des Wirkungsgrades* (IEC 61683)

EN 50524<sup>1)</sup>, *Datenblatt- und Typschildangaben von Photovoltaik-Wechselrichtern*

CLC/TS 61836<sup>1)</sup>, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols* (IEC/TS 61836:2007)

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

### 3.1 Wechselrichtereingang (PV-Generatorausgang)

#### 3.1.1

##### maximale Eingangsspannung

$U_{dcmax}$

maximale Spannung, die am Eingang des Wechselrichters auftreten darf

ANMERKUNG Das Überschreiten von  $U_{dcmax}$  kann den Prüfling zerstören.

#### 3.1.2

##### minimale Eingangsspannung

$U_{dcmin}$

minimale Eingangsspannung, bei der der Wechselrichter, unabhängig von der Betriebsart, noch ins Netz einspeist

#### 3.1.3

##### Bemessungseingangsspannung

$U_{dc,r}$

vom Hersteller angegebene Eingangsspannung, auf die sich weitere Datenblattangaben beziehen

ANMERKUNG Wird dieser Wert vom Hersteller nicht angegeben, ist  $U_{dc,r} = (U_{mppmax} + U_{mppmin})/2$  anzuwenden.

#### 3.1.4

##### maximale MPP-Spannung

$U_{mppmax}$

maximale Spannung, bei der der Wechselrichter seine Bemessungsleistung unter MPPT-Bedingungen abgeben kann<sup>3</sup>

ANMERKUNG Wenn der vom Hersteller für  $U_{mppmax}$  angegebene Wert höher als  $0,8 \times U_{dcmax}$  ist, dann ist die Messung bei  $U_{mppmax} = 0,8 \times U_{dcmax}$  durchzuführen.

---

<sup>1)</sup> Zzt. Entwurf.

### 3.1.5

#### minimale MPP-Spannung

$U_{\text{mppmin}}$

minimale Spannung, bei der der Wechselrichter seine Bemessungsleistung unter MPPT-Bedingungen abgeben kann

ANMERKUNG Die jeweilige minimale MPP-Spannung kann von der Höhe der Netzspannung abhängig sein.

### 3.1.6

#### Bemessungseingangsleistung

$P_{\text{dc},r}$

Bemessungseingangsleistung des Wechselrichters, die unter Dauerbetriebsbedingungen aufgenommen werden kann

ANMERKUNG Wird dieser Wert vom Hersteller nicht angegeben, dann darf er mit  $P_{\text{dc},r} = P_{\text{ac},r} / \eta_{\text{conv,min}}$  festgelegt werden. Dabei ist  $\eta_{\text{conv,min}}$  der kleinste Umwandlungswirkungsgrad bei Bemessungswechselleistung.

### 3.1.7

#### maximaler Eingangsstrom

$I_{\text{dc,max}}$

maximaler Eingangsstrom des Wechselrichters unter Dauerbetriebsbedingungen

ANMERKUNG Bei Wechselrichtern mit mehreren unabhängigen Eingängen kann dieser Wert von der gewählten Eingangskonfiguration abhängen.

## 3.2 Wechselrichterausgang (Netzanschluss)

### 3.2.1

#### Bemessungsnetzspannung

$U_{\text{ac},r}$

Spannung des angeschlossenen Netzes, auf die sich andere Datenblattangaben beziehen

### 3.2.2

#### Bemessungsleistung

$P_{\text{ac},r}$

Wirkleistung, die vom Wechselrichter im Dauerbetrieb abgegeben werden kann

## 3.3 Gemessene Größen

### 3.3.1

#### MPP-Leistung des PV-Simulators

$P_{\text{mpp,PVS}}$

vom PV-Simulator am MPP abgegebene Leistung

### 3.3.2

#### Eingangsleistung

$P_{\text{dc}}$

gemessene Eingangsleistung des Prüflings

### 3.3.3

#### MPP-Spannung des PV-Simulators

$U_{\text{mpp,PVS}}$

vom PV-Simulator am MPP abgegebene Spannung

### 3.3.4

#### Eingangsspannung

$U_{\text{dc}}$

gemessene Eingangsspannung des Prüflings

### 3.3.5

#### MPP-Strom des PV-Simulators

$I_{\text{mpp,PVS}}$

vom PV-Simulator am MPP abgegebener Strom

### 3.3.6

#### Eingangsstrom

$I_{dc}$

gemessener Eingangsstrom des Prüflings

### 3.3.7

#### Ausgangsleistung

$P_{ac}$

gemessene AC-Ausgangsleistung des Prüflings

### 3.3.8

#### Ausgangsspannung

$U_{ac}$

gemessene Wechselspannung

### 3.3.9

#### Ausgangsstrom

$I_{ac}$

gemessener Ausgangswechselstrom des Prüflings

## 3.4 Berechnete Größen

### 3.4.1

#### MPPT-Wirkungsgrad, energetisch

$\eta_{MPPT}$

Verhältnis der während einer definierten Messdauer  $T_M$  von der zu prüfenden Einrichtung entnommenen Energie zu der vom PV-Simulator theoretisch zur Verfügung gestellten Energie am Punkt der maximalen Leistung (MPP)

$$\eta_{MPPT} = \frac{\int_0^{T_M} p_{dc}(t) \cdot dt}{\int_0^{T_M} p_{mpp}(t) \cdot dt} \quad (1)$$

Dabei ist

$p_{dc}(t)$  Momentanwert der von der zu prüfenden Einrichtung entnommenen Leistung

$p_{mpp}(t)$  Momentanwert der am PV-Simulator theoretisch verfügbaren Leistung im MPP

### 3.4.2

#### Umwandlungswirkungsgrad, energetisch

$\eta_{conv}$

für den Prüfling das Verhältnis aus der am Wechselstromanschluss gelieferten Energie zu der am Gleichstromanschluss aufgenommenen Energie während einer definierten Messdauer  $T_M$

$$\eta_{conv} = \frac{\int_0^{T_M} p_{ac}(t) \cdot dt}{\int_0^{T_M} p_{dc}(t) \cdot dt} \quad 3.4.3(2)$$

Dabei ist

$p_{ac}(t)$  Momentanwert der von der zu prüfenden Einrichtung am Wechselstromanschluss gelieferten Leistung

$p_{dc}(t)$  Momentanwert der von der zu prüfenden Einrichtung am Gleichstromanschluss entnommenen Leistung

### 3.4.3

#### Gesamtwirkungsgrad, energetisch

$\eta_t$

Verhältnis der an den Wechselstromanschlüssen der zu prüfenden Einrichtung gelieferten Energie zu der vom PV-Simulator theoretisch zur Verfügung gestellten Energie während einer definierten Messdauer  $T_M$

$$\eta_t = \frac{\int_0^{T_M} p_{ac}(t) \cdot dt}{\int_0^{T_M} p_{mpp}(t) \cdot dt} \quad \text{bzw.} \quad \eta_t = \eta_{conv} \cdot \eta_{MPPT} \quad (3)$$

## 3.5 Sonstige Begriffe

### 3.5.1

#### PV-Generator-Simulator

Stromquelle, mit der statische und dynamische Verhalten – speziell die Strom-Spannungs-Kennlinie (siehe IEC/TS 61836) – eines PV-Generators nachgebildet werden. Die Anforderungen werden in A.1 beschrieben

## 4 MPPT-Wirkungsgrad

### 4.1 Allgemeine Beschreibung

Der Wirkungsgrad beschreibt die Genauigkeit der Einstellung des Wechselrichters auf den Punkt der maximalen Leistung auf der PV-Generatorkennlinie. Beim MPPT-Wirkungsgrad wird unterschieden zwischen dem statischen und dem dynamischen Wirkungsgrad. Der statische und auch der dynamische Wirkungsgrad werden jeweils aus abgetasteten Augenblickswerten des Stroms und der Spannung am Eingang des Wechselrichters ermittelt. Er gibt an, welcher Wert der theoretisch nutzbaren Leistung des PV-Generators tatsächlich vom Wechselrichter verwendet wird.

#### a) Statischer MPPT-Wirkungsgrad

Der statische MPPT-Wirkungsgrad wird messtechnisch wie folgt ermittelt

$$\eta_{MPPTstat} = \frac{1}{P_{mpp,PVS} \cdot T_M} \sum_i U_{dc,i} \cdot I_{dc,i} \cdot \Delta T \quad (4)$$

Dabei ist

$U_{dc,i}$  Abtastwert der Wechselrichter-Eingangsspannung

$I_{dc,i}$  Abtastwert des Wechselrichter-Eingangstromes

$T_M$  Gesamt-Messdauer

$\Delta T$  Dauer zwischen zwei aufeinander folgenden Abtastwerten

Der statische MPPT-Wirkungsgrad beschreibt die Genauigkeit (Fehlanspassung) eines Wechselrichters, den Arbeitspunkt (MPP) auf einer vorgegebenen statischen PV-Generatorkennlinie einzustellen.

ANMERKUNG  $U_{dc,i}$  und  $I_{dc,i}$  müssen zum gleichen Zeitpunkt abgetastet werden.

#### b) Dynamischer MPPT-Wirkungsgrad

Änderungen der Bestrahlungsstärke und das daraus resultierende Übergangsverhalten des Wechselrichters auf den neuen Arbeitspunkt werden beim statischen Wirkungsgrad nicht berücksichtigt. Zur Beurteilung dieses Übergangsverhaltens wird der dynamische Wirkungsgrad angegeben. Der dynamische MPPT-Wirkungsgrad ist definiert als:

$$\eta_{MPPTdyn} = \frac{1}{\sum_j P_{mpp,PVS,j} \cdot \Delta T_j} \sum_i U_{dc,i} \cdot I_{dc,i} \cdot \Delta T_i \quad (5)$$

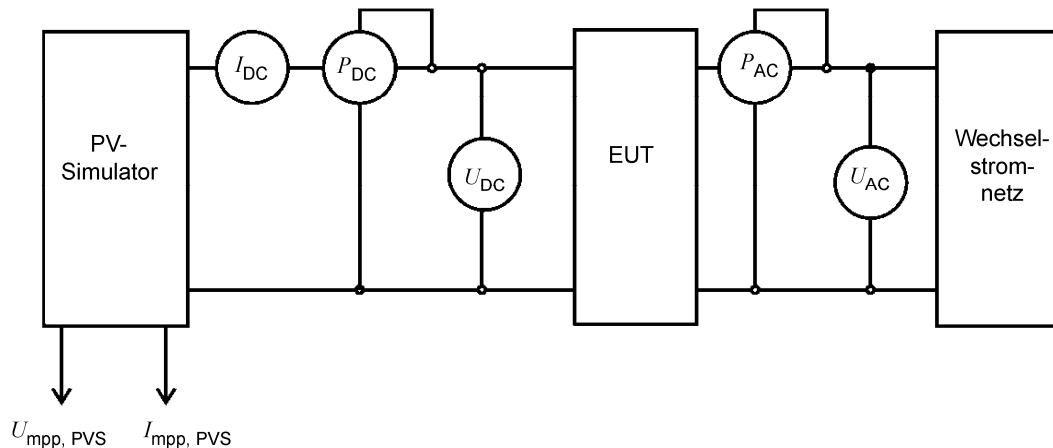
Dabei ist

$\Delta T_j$  Dauer, in der die Leistung  $P_{\text{mpp,PVS},j}$  bereitgestellt wird

$\Delta T_i$  Dauer, in der die Leistung  $U_{\text{dc},i}$  und  $I_{\text{dc},i}$  abgetastet wird

## 4.2 Messschaltung

In Bild 1 ist die allgemeine Messschaltung für einphasige netzgekoppelte Wechselrichter dargestellt. Dieses Schaltbild kann auch als die Darstellung einer Phase der Messschaltung von mehrphasigen Wechselrichtern betrachtet werden.



### Legende

EUT Zu prüfende Einrichtung (Wechselrichter)

$I_{\text{DC}}$  Gleichstrommessgerät

$U_{\text{DC}}$  Gleichspannungsmessgerät

$P_{\text{DC}}$  Gleichstrom-Leistungsmessgerät

$U_{\text{AC}}$  Wechselspannungsmessgerät

$P_{\text{AC}}$  Wechselstrom-Leistungsmessgerät

**Bild 1 – Beispiel für die Messschaltung des MPPT-Wirkungsgrades**

Für die Messungen ist als Gleichstromquelle am Eingang des Wechselrichters ein PV-Simulator nach A.1 zu verwenden.

Die Wechselstromversorgung des Wechselrichters muss den Festlegungen in A.2 entsprechen.

## 4.3 Statischer MPPT-Wirkungsgrad

### 4.3.1 Messbedingungen für den statischen MPPT-Wirkungsgrad

Die Messung des statischen MPPT-Wirkungsgrades muss nach den Festlegungen in Tabelle 1 durchgeführt werden.

Bei Prüflingen mit mehreren unabhängigen Eingängen sind die Messungen für alle vom Hersteller vorgesehenen Eingangskonfigurationen durchzuführen. Sofern vom Hersteller nicht anders vorgesehen, ist die Gesamtleistung gleichmäßig auf die einzelnen Eingänge aufzuteilen.

**ANMERKUNG** Die Messung des stationären MPPT-Wirkungsgrades sollte vorzugsweise in Kombination mit der Messung des Umwandlungswirkungsgrades (siehe 4.5) erfolgen.

**Tabelle 1 – Messbedingungen für den statischen MPPT-Wirkungsgrad**

| MPP-Spannung der simulierten <i>I-U</i> -Kennlinie des PV-Generators                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Simulierte <i>I-U</i> -Kennlinie (siehe Anhang C) | MPP-Leistung der simulierten <i>I-U</i> -Kennlinie, bezogen auf die Bemessungseingangsleistung, $P_{\text{mpp,PVS}}/P_{\text{dc,r}}$ |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                   | 0,05                                                                                                                                 | 0,10 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,50 | 0,75 | 1,00 |
| $U_{\text{mppmax}} (0,8 \cdot U_{\text{dcmax}}^{\text{a,c}})$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | cSi                                               |                                                                                                                                      |      |      |      |      |      |      |      |
| $U_{\text{dc,r}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | cSi                                               |                                                                                                                                      |      |      |      |      |      |      |      |
| $U_{\text{mppmin}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | cSi                                               |                                                                                                                                      |      |      |      |      |      |      |      |
| $U_{\text{mppmax}} (0,7 \cdot U_{\text{dcmax}}^{\text{a,c}})$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | TF <sup>b</sup>                                   |                                                                                                                                      |      |      |      |      |      |      |      |
| $U_{\text{dc,r}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | TF <sup>b</sup>                                   |                                                                                                                                      |      |      |      |      |      |      |      |
| $U_{\text{mppmin}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | TF <sup>b</sup>                                   |                                                                                                                                      |      |      |      |      |      |      |      |
| <p><sup>a</sup> Zu verwenden ist der jeweils niedrigere Wert. Mit den angegebenen MPP-Spannungen wird sichergestellt, dass der korrekte MPPT-Betrieb nicht durch das Erreichen der Spannungsgrenzwerte beeinflusst wird.</p> <p><sup>b</sup> Diese Messpunkte dürfen für die zu prüfenden Einrichtungen entfallen, welche nicht für den Einsatz mit Dünnschichttechnologien vorgesehen sind.</p> <p><sup>c</sup> Bei anderen Zellentechnologien muss entsprechend der Wert <math>U_{\text{mppmax}} = n \cdot U_{\text{dcmax}}</math> eingestellt werden.</p> |                                                   |                                                                                                                                      |      |      |      |      |      |      |      |

Die Messungen sollten vorzugsweise beim Nennwert der Netzspannung  $U_{\text{AC,r}}$  durchgeführt werden, um zu vermeiden, dass die Höhe der Netzspannung einen Einfluss auf die Messergebnisse hat.

#### 4.3.2 Durchführung der Messungen

Für jede der vorstehend festgelegten Messbedingungen ist eine entsprechende *I-U*-Kennlinie festzulegen, die mit dem PV-Simulator nachzubilden ist.

ANMERKUNG 1 Die Anforderungen an die Genauigkeit der festzulegenden Kennlinie werden in Anhang C beschrieben.

Nach der Inbetriebnahme der zu prüfenden Einrichtung ist zunächst die Stabilisierung des MPP-Trackings (MPP-Nachführens) abzuwarten.

ANMERKUNG 2 Entsprechend der Vielzahl von unterschiedlichen MPPT-Verfahren und deren Parametern ist in dieser Norm keine bestimmte Wartezeit festgelegt. Die Stabilisierungsdauer hängt vom jeweiligen Verhalten der zu prüfenden Einrichtung ab und ist für jeden Einzelfall entsprechend festzulegen. Sie muss im Prüfbericht angegeben werden. Wenn aufgrund des Verhaltens der zu prüfenden Einrichtung keine Stabilisierung des MPPT beobachtet werden kann, ist eine Wartezeit von mindestens 5 min festgelegt.

Nach der Stabilisierung des MPP-Trackings sind die folgenden Parameter für eine Dauer von 10 min zu registrieren:

- $P_{\text{mppPVS}}$  vom PV-Simulator im MPP bereitgestellte Leistung;
- $P_{\text{dc}}$  gemessene Eingangsleistung der zu prüfenden Einrichtung;
- $U_{\text{mppPVS}}$  vom PV-Simulator im MPP bereitgestellte Spannung;
- $U_{\text{dc}}$  gemessene Eingangsspannung der zu prüfenden Einrichtung;
- $I_{\text{mppPVS}}$  vom PV-Simulator im MPP bereitgestellter Strom;
- $I_{\text{dc}}$  gemessener Eingangsstrom der zu prüfenden Einrichtung.

ANMERKUNG 3 Die Abtast- und die Aufzeichnungsrate sind nicht festgelegt. Sie müssen jedoch beide ausreichend hoch sein, um das spezifische MPP-Trackingverhalten der zu prüfenden Einrichtung fehlerfrei abbilden zu können. Dies gilt besonders auch für die bei PV-Wechselrichtern auftretenden Eingangsspannungsschwankungen mit einem Vielfachen der Netzfrequenz.

ANMERKUNG 4  $P_{\text{dc}}$  darf aus  $U_{\text{dc}}$  und  $I_{\text{dc}}$  berechnet werden.

#### 4.3.3 Auswertung – Berechnung des statischen MPPT-Wirkungsgrades

Für jede der Messbedingungen nach Tabelle 1 ist aus den aufgezeichneten Messdaten der statische MPPT-Wirkungsgrad  $\eta_{\text{MPPT}}$  entsprechend der Definition zu berechnen. Die Ergebnisse sind im Messprotokoll aufzuzeichnen.

Für jede MPP-Spannung bzw. jede simulierte  $I$ - $U$ -Kennlinie sind die folgenden Einzelangaben zu berechnen und im Messprotokoll anzugeben:

- der Europäisch gewichtete MPPT-Wirkungsgrad

$$\eta_{\text{MPPTstat,EUR}} = 0,03 \eta_{\text{MPPTstat,5\%}} + 0,06 \eta_{\text{MPPTstat,10\%}} + 0,13 \eta_{\text{MPPTstat,20\%}} + 0,10 \eta_{\text{MPPTstat,30\%}} + 0,48 \eta_{\text{MPPTstat,50\%}} + 0,20 \eta_{\text{MPPTstat,100\%}} \quad (6)$$

- sowie der CEC gewichtete MPPT-Wirkungsgrad (CEC = California Energy Commission)

$$\eta_{\text{MPPTstat,CEC}} = 0,04 \eta_{\text{MPPTstat,10\%}} + 0,05 \eta_{\text{MPPTstat,20\%}} + 0,12 \eta_{\text{MPPTstat,30\%}} + 0,21 \eta_{\text{MPPTstat,50\%}} + 0,53 \eta_{\text{MPPTstat,75\%}} + 0,05 \eta_{\text{MPPTstat,100\%}} \quad (7)$$

Darüber hinaus sind Modifikationen der internen Einstellung der zu prüfenden Einrichtung, bei der Messung beobachtetes auffälliges Verhalten sowie Abweichungen vom festgelegten Verfahren zu dokumentieren.

#### 4.4 Dynamischer MPPT-Wirkungsgrad

##### 4.4.1 Messbedingungen für den dynamischen MPPT-Wirkungsgrad

Die Messung des dynamischen MPPT-Wirkungsgrades ist entsprechend den Messbedingungen durchzuführen, die in den Tabellen in Anhang B aufgeführt sind.

ANMERKUNG Alternative Messverfahren befinden sich in der Diskussion.

Besitzen die zu prüfenden Einrichtungen mehrere, unabhängige Eingänge, dann sind die Messungen jeweils für alle vom Hersteller vorgesehenen Eingangskonfigurationen durchzuführen. Dabei ist die Gesamtleistung – sofern vom Hersteller nicht anders festgelegt – gleichmäßig auf die einzelnen Eingänge aufzuteilen.

##### 4.4.2 Durchführung der Messungen

Für jede der in Anhang B festgelegten Messbedingungen ist eine entsprechende  $I$ - $U$ -Kennlinie festzulegen, die mit dem PV-Simulator nachzubilden ist. Dabei entspricht eine Bestrahlungsstärke von  $1\,000\text{ W/m}^2$  der Bemessungs-Gleichstromleistung  $P_{\text{DC,r}}$  der zu prüfenden Einrichtung. Vor jeder einzelnen Prüffolge ist eine Vorhaltezeit (Anfangs-Einstellzeit) einzufügen, um die Stabilisierung der zu prüfenden Einrichtung abzuwarten. Während der Anfangs-Einstellzeit gemessene Werte werden für die Berechnung des dynamischen MPPT-Wirkungsgrades nach 4.4.3 nicht berücksichtigt.

ANMERKUNG 1 Die Anforderungen an die Genauigkeit der festzulegenden Kennlinien werden in Anhang C beschrieben.

ANMERKUNG 2 Entsprechend der Vielzahl von unterschiedlichen MPPT-Verfahren und deren Parametern ist in dieser Norm keine bestimmte Wartezeit festgelegt. Die Stabilisierungsdauer hängt vom jeweiligen Verhalten der zu prüfenden Einrichtung ab und ist für jeden Einzelfall entsprechend festzulegen. Sie muss im Prüfbericht angegeben werden. Wenn aufgrund des Verhaltens der zu prüfenden Einrichtung keine Stabilisierung des MPPT beobachtet werden kann, ist eine Wartezeit von mindestens 5 min festgelegt.

Für die Bewertung und die Bestimmung des dynamischen MPPT-Wirkungsgrades werden die folgenden Parameter während der Messung aufgezeichnet:

- $P_{\text{mppPVS}}$  vom PV-Simulator im MPP bereitgestellte Leistung;
- $P_{\text{dc}}$  gemessene Eingangsleistung der zu prüfenden Einrichtung;
- $U_{\text{mppPVS}}$  vom PV-Simulator im MPP bereitgestellte Spannung;
- $U_{\text{dc}}$  gemessene Eingangsspannung der zu prüfenden Einrichtung;
- $I_{\text{mppPVS}}$  vom PV-Simulator im MPP bereitgestellter Strom;
- $I_{\text{dc}}$  gemessener Eingangsstrom der zu prüfenden Einrichtung.

ANMERKUNG 3 Die Abtast- und die Aufzeichnungsrate sind nicht festgelegt. Sie müssen jedoch beide ausreichend hoch sein, um das spezifische MPP-Trackingverhalten der zu prüfenden Einrichtung fehlerfrei abbilden zu können. Dies gilt besonders auch für die bei PV-Wechselrichtern auftretenden Eingangsspannungsschwankungen mit einem Vielfachen der Netzfrequenz.  $U_{dc}$  und  $I_{dc}$  müssen genau zum selben Zeitpunkt abgetastet werden.

ANMERKUNG 4  $P_{dc}$  darf aus  $U_{dc}$  und  $I_{dc}$  berechnet werden.

#### 4.4.3 Auswertung – Berechnung des dynamischen MPPT-Wirkungsgrades

Für jede Prüffolge nach Anhang B ist der dynamische MPPT-Wirkungsgrad  $\eta_{MPPT, dyn}$  aus den aufgetragenen Werten entsprechend der Definition zu berechnen. Die Ergebnisse sind im Messprotokoll aufzuzeichnen.

Der berechnete MPPT-Wirkungsgrad ist im Messprotokoll für jede Testsequenz in tabellarischer Form zu dokumentieren.

Weiterhin sind Änderungen der internen Einstellung der zu prüfenden Einrichtung, bei der Messung beobachtetes auffälliges Verhalten sowie Abweichungen vom festgelegten Verfahren zu dokumentieren.

### 4.5 Statischer Umwandlungswirkungsgrad

#### 4.5.1 Messbedingungen für den statischen Umwandlungswirkungsgrad

Die Messung des Umwandlungswirkungsgrades ist in EN 61683 festgelegt. Der in dieser Norm festgelegte Leistungspegel ist um 5 %, 20 % und 30 % von  $P_{dc,r}$  ergänzt.

ANMERKUNG 1 Wenn vom Hersteller nur  $P_{ac,r}$  angegeben wurde, dann muss  $P_{dc,r}$  nach der Definition in 3.1.6 berechnet werden.

Die Messung des Umwandlungswirkungsgrades ist nach den Festlegungen in Tabelle 2 durchzuführen.

Besitzen die zu prüfenden Einrichtungen mehrere, unabhängige Eingänge, dann sind die Messungen jeweils für alle vom Hersteller vorgesehenen Eingangskonfigurationen durchzuführen. Dabei ist die Gesamtleistung – sofern vom Hersteller nicht anders festgelegt – gleichmäßig auf die einzelnen Eingänge aufzuteilen.

ANMERKUNG 2 Die Messung des Umwandlungswirkungsgrades sollte vorzugsweise in Kombination mit der Messung des statischen MPPT-Wirkungsgrades nach 4.3 erfolgen.

**Tabelle 2 – Messbedingungen für den Umwandlungswirkungsgrad**

| MPP-Spannung der simulierten <i>I-U</i> -Kennlinie des PV-Generators                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Simulierte <i>I-U</i> -Kennlinie (siehe Anhang C) | MPP-Leistung der simulierten <i>I-U</i> -Kennlinie, bezogen auf die Bemessungseingangsleistung, $P_{mpp,PVS}/P_{dc,r}$ |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                   | 0,05                                                                                                                   | 0,10 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,50 | 0,75 | 1,00 |
| $U_{mppmax} (0,8 \cdot U_{dcmax}^a)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | cSi                                               |                                                                                                                        |      |      |      |      |      |      |      |
| $U_{dc,r}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | cSi                                               |                                                                                                                        |      |      |      |      |      |      |      |
| $U_{mppmin}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | cSi                                               |                                                                                                                        |      |      |      |      |      |      |      |
| $U_{mppmax} (0,7 \cdot U_{dcmax}^a)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | TF <sup>b</sup>                                   |                                                                                                                        |      |      |      |      |      |      |      |
| $U_{dc,r}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | TF <sup>b</sup>                                   |                                                                                                                        |      |      |      |      |      |      |      |
| $U_{mppmin}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | TF <sup>b</sup>                                   |                                                                                                                        |      |      |      |      |      |      |      |
| <p><sup>a</sup> Zu verwenden ist der jeweils niedrigere Wert. Mit den angegebenen MPP-Spannungen wird sichergestellt, dass der korrekte MPPT-Betrieb nicht durch das Erreichen der Spannungsgrenzwerte beeinflusst wird.</p> <p><sup>b</sup> Diese Messpunkte dürfen für die zu prüfenden Einrichtungen entfallen, welche nicht für den Einsatz mit Dünnschichttechnologien vorgesehen sind.</p> |                                                   |                                                                                                                        |      |      |      |      |      |      |      |

#### 4.5.2 Durchführung der Messungen

Für jede der vorstehend festgelegten Messbedingungen ist eine entsprechende  $I$ - $U$ -Kennlinie festzulegen, die mit dem PV-Simulator nachzubilden ist.

ANMERKUNG 1 Die Anforderungen an die Genauigkeit der festzulegenden Kennlinie werden in Anhang C beschrieben.

Nach der Inbetriebnahme der zu prüfenden Einrichtung ist zunächst die Stabilisierung des MPP-Trackings (MPP-Nachführens) abzuwarten.

ANMERKUNG 2 Entsprechend der Vielzahl von unterschiedlichen MPPT-Verfahren und deren Parametern ist in dieser Norm keine bestimmte Wartezeit festgelegt. Die Stabilisierungsdauer hängt vom jeweiligen Verhalten der zu prüfenden Einrichtung ab und ist für jeden Einzelfall entsprechend festzulegen. Sie muss im Prüfbericht angegeben werden. Wenn aufgrund des Verhaltens der zu prüfenden Einrichtung keine Stabilisierung des MPPT beobachtet werden kann, ist eine Wartezeit von mindestens 5 min festgelegt.

Nach der Stabilisierung des MPP-Trackings sind die folgenden Parameter für eine Dauer von 10 min zu registrieren:

- $P_{\text{mppPVS}}$  vom PV-Simulator im MPP bereitgestellte Leistung;
- $P_{\text{dc}}$  gemessene Eingangsleistung der zu prüfenden Einrichtung;
- $U_{\text{mppPVS}}$  vom PV-Simulator im MPP bereitgestellte Spannung;
- $U_{\text{dc}}$  gemessene Eingangsspannung der zu prüfenden Einrichtung;
- $I_{\text{mppPVS}}$  vom PV-Simulator im MPP bereitgestellter Strom;
- $I_{\text{dc}}$  gemessener Eingangsstrom der zu prüfenden Einrichtung.

ANMERKUNG 3 Die Abtast- und die Aufzeichnungsrate sind nicht festgelegt. Sie müssen jedoch beide ausreichend hoch sein, um das spezifische MPP-Trackingverhalten der zu prüfenden Einrichtung fehlerfrei abbilden zu können. Dies gilt besonders auch für die bei PV-Wechselrichtern auftretenden Eingangsspannungsschwankungen mit einem Vielfachen der Netzfrequenz.

ANMERKUNG 4  $P_{\text{dc}}$  darf aus  $U_{\text{dc}}$  und  $I_{\text{dc}}$  berechnet werden.

#### 4.5.3 Auswertung – Berechnung des statischen Umwandlungswirkungsgrades

Für jede der Messbedingungen nach Tabelle 2 ist aus den aufgezeichneten Messdaten der statische Umwandlungswirkungsgrad  $\eta_{\text{conv}}$  entsprechend der Definition zu berechnen. Die Ergebnisse sind im Messprotokoll aufzuzeichnen.

Für jede MPP-Spannung bzw. jede simulierte  $I$ - $U$ -Kennlinie sind die folgenden Einzelangaben zu berechnen und im Messprotokoll anzugeben:

- der europäisch gewichtete Umwandlungswirkungsgrad

$$\eta_{\text{conv,EUR}} = 0,03 \eta_{\text{conv, 5 \%}} + 0,06 \eta_{\text{conv, 10 \%}} + 0,13 \eta_{\text{conv, 20 \%}} + 0,10 \eta_{\text{conv, 30 \%}} + 0,48 \eta_{\text{conv, 50 \%}} + 0,20 \eta_{\text{conv, 100 \%}} \quad (8)$$

- sowie der CEC gewichtete Umwandlungswirkungsgrad (CEC = California Energy Commission)

$$\eta_{\text{conv,CEC}} = 0,04 \eta_{\text{conv, 10 \%}} + 0,05 \eta_{\text{conv, 20 \%}} + 0,12 \eta_{\text{conv, 30 \%}} + 0,21 \eta_{\text{conv, 50 \%}} + 0,53 \eta_{\text{conv, 75 \%}} + 0,05 \eta_{\text{conv, 100 \%}} \quad (9)$$

Darüber hinaus sind Modifikationen der internen Einstellung der zu prüfenden Einrichtung, bei der Messung beobachtetes auffälliges Verhalten sowie Abweichungen vom festgelegten Verfahren zu dokumentieren.

## 5 Berechnung des Gesamtwirkungsgrades

Die Gleichstromleistung wird mit dem Umwandlungswirkungsgrad  $\eta_{\text{conv}}$  in die Wechselstromleistung  $P_{\text{AC}}$  umgewandelt. Der Istwert der Gleichstromleistung  $P_{\text{DC}}$  der zu prüfenden Einrichtung ist das Produkt aus dem statischen MPPT-Wirkungsgrad  $\eta_{\text{MPPTstat}}$  und der vom PV-Simulator bereitgestellten MPP-Leistung  $P_{\text{mpp,PVS}}$ :

$$P_{\text{AC}} = \eta_{\text{conv}} \cdot P_{\text{DC}} = \eta_{\text{conv}} \cdot \eta_{\text{MPPTstat}} \cdot P_{\text{mpp,PVS}} = \eta_{\text{t}} \cdot P_{\text{mpp,PVS}} \quad (10)$$

Der Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{\text{t}}$  kann auch betrachtet werden als:

$$\eta_{\text{t}} = \eta_{\text{conv}} \cdot \eta_{\text{MPPTstat}} = \frac{P_{\text{AC}}}{P_{\text{mpp,PVS}}} \quad (11)$$

## Anhang A (normativ)

### Anforderungen an die Messgeräte

#### A.1 PV-Modulfeld-Simulator

##### A.1.1 Allgemeines

Für die korrekte Bestimmung des MPPT-Wirkungsgrades nach Abschnitt 4, muss der für die Messungen verwendete PV-Simulator die stationären und dynamischen Eigenschaften eines PV-Modulfeldes exakt nachbilden können.

Im Folgenden werden Mindestanforderungen festgelegt, die vom verwendeten PV-Simulator erfüllt werden müssen.

Im Allgemeinen müssen die in Tabelle A.1 angegebenen Anforderungen hinsichtlich der Abhängigkeit der MPP-Spannung von der Bestrahlungsstärke, das Verhältnis der MPP-Spannung zur Leerlaufspannung und das Verhältnis des MPP-Stromes zum Kurzschlussstrom erfüllt werden. In den folgenden Abschnitten werden weitere Anforderungen an den statischen und dynamischen Fall beschrieben.

**Tabelle A.1 – Allgemeine Anforderungen an die simulierte  $I$ - $U$ -Kennlinie des PV-Modulfeldes**

|                                                                        | cSi-Technologie | Dünnschicht-Technologie | Toleranz  |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------|
| $\frac{U_{MPP} _{G=200\text{ W/m}^2}}{U_{MPP} _{G=1000\text{ W/m}^2}}$ | 0,95            | 0,98                    | $\pm 1\%$ |
| $\frac{U_{MPP,STC}}{U_{OC,STC}}$                                       | 0,8             | 0,72                    | $< 1\%$   |
| $\frac{I_{MPP,STC}}{I_{SC,STC}}$                                       | 0,9             | 0,8                     | $< 1\%$   |

##### A.1.2 Anforderungen an die statische Kennlinie

Die auf den Ausgang des PV-Simulators bezogene Strom-/Spannungs-Kennlinie muss den in Anhang C definierten Modellen des PV-Modulfeldes entsprechen. Dabei sind die für die jeweilige Teilprüfung einzustellenden Parameter ( $U_{OC}$ ,  $U_{MPP}$ ,  $P_{MPP}$ ,  $FF_U$ ,  $FF_I$ ) maßgeblich. Die tatsächliche Strom-/Spannungs-Kennlinie des PV-Simulators darf im Spannungsbereich von  $0,9 \times U_{mpp, PVS}$  bis  $1,1 \times U_{mpp, PVS}$  um nicht mehr als 1 % der Leistung bezogen auf die vorgegebene Kennlinie bei Bemessungsbedingungen abweichen.

Der PV-Simulator muss die Strom-/Spannungs-Kennlinie des PV-Modulfeld-Simulators nach Anhang C auch für zeitlich veränderliche Größen von  $U_{OC}$ ,  $U_{MPP}$ ,  $P_{MPP}$  usw. nachbilden können. Gegebenenfalls auftretende Sprünge dieser Parameter (z. B. bei festgelegten rampenförmigen Änderungen) sollten so klein wie möglich sein, zumindest jedoch kleiner als 1 % des zugehörigen Ausgangswertes.

**ANMERKUNG** Wenn der Prüfling bereits bei Spannungen unter  $0,9 \times U_{mpp, PVS}$  arbeitet, muss der PV-Simulator die PV-Kennlinie nach dem Modell in Anhang C auch in diesem Spannungsbereich nachbilden können.

##### A.1.3 Anforderungen an die zeitliche Stabilität

Während der Messdauer darf sich die Leistung im MPP um nicht mehr als 0,1 % in Bezug auf die festgelegte  $I$ - $U$ -Kennlinie bei Bemessungsbedingungen ändern.

##### A.1.4 Anforderungen an die dynamische Kennlinie

Grundsätzlich muss der PV-Simulator für den bestimmungsgemäßen Betrieb der zu prüfenden Einrichtung in Bezug auf das Nachführen auf den Punkt der maximalen Leistung (MPP) geeignet sein. Dies erfordert ein ausreichendes dynamisches Verhalten des PV-Simulators, damit er den bei der Messung auftretenden dynamischen Spannungsänderungen folgen kann (z. B. typische Welligkeit einphasiger Wechselrichter mit dem Doppelten der Netzfrequenz).

**ANMERKUNG** Die tatsächlichen Anforderungen an die dynamischen Eigenschaften des PV-Simulators können aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der zu prüfenden Einrichtungen starken Schwankungen unterworfen sein. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass die zu prüfenden Einrichtungen höhere Anforderungen an den PV-Simulator stellen. Unzureichende dynamische Eigenschaften können jedoch das MPPT-Betriebsverhalten der zu prüfenden Einrichtung beeinflussen. Dies gilt besonders für MPPT-Verfahren, die beruhend auf einer Korrelation zwischen Eingangsstrom und Eingangsspannung arbeiten. Dadurch ist es möglich, dass vor der MPPT-Messung noch Vergleichsmessungen (z. B. an einem realen PV-Modulfeld) erforderlich sein können, um sicherzustellen, dass das MPP-Nachführverhalten durch den PV-Simulator nicht unzulässig beeinflusst wird.

#### **A.1.5 Anforderungen an die elektrischen Eigenschaften**

Wenn die Gleichstromseite und die Wechselstromseite der zu prüfenden Einrichtung keine galvanische Trennung besitzen, dann darf der Ausgang des PV-Simulators nicht geerdet werden und für Spannungen geeignet sein, die zwischen dem Gleichstromeingang der zu prüfenden Einrichtung und PE auftreten. Die zwischen dem Ausgang des PV-Simulators und Erdpotential vorhandene Kapazität sollte klein wie möglich sein, um eine negative Beeinflussung der EMV-Eigenschaften der zu prüfenden Einrichtung zu vermeiden.

#### **A.1.6 Kalibrierung – Unsicherheit**

Abweichungen zwischen der vom PV-Simulator nachgebildeten Strom-/Spannungs-Kennlinie und der Vorgabebeeinstellung können einen erheblichen Einfluss auf die Messergebnisse haben. Vor den Messungen muss deshalb durch entsprechende Kalibrierung sichergestellt werden, dass einerseits der PV-Simulator mit der zu prüfenden Einrichtung einwandfrei zusammenarbeitet sowie andererseits die Istwerte der von PV-Simulator erzeugten Parameter ( $U_{OC}$ ,  $U_{MPP}$ ,  $P_{MPP}$ , ...) hinreichend bekannt sind.

### **A.2 Wechselstromversorgung**

Als Wechselstromquelle für die Messungen sollte vorzugsweise ein Netzsimulator eingesetzt werden, der eine stabile und störungsfreie Wechselspannung bereitstellt.

Wird kein Netzsimulator verwendet, ist sicherzustellen, dass es durch die Eigenschaften des Netzes (z. B. Höhe und Form der Spannung) zu keiner unzulässigen Beeinflussung des Betriebsverhaltens der zu prüfenden Einrichtung kommt.

Alle Messungen sind im Allgemeinen bei der Bemessungsnetzspannung  $U_{ac,r}$  (–3 % bis +6 %) und der Bemessungsnetzfrequenz  $f_{ac,r} \pm 0,1$  Hz durchzuführen, die der Hersteller der zu prüfenden Einrichtung angibt.

**ANMERKUNG** Mit der Einhaltung dieser Grenzwerte wird sichergestellt, dass unzulässige Beeinflussungen der zu prüfenden Einrichtung durch die Netzspannung vermieden werden.

## Anhang B (normativ)

### Prüfbedingungen für den dynamischen MPPT-Wirkungsgrad

#### B.1 Prüfprofile

Die Prüfungen für den dynamischen MPPT-Wirkungsgrad sind mit den folgenden Verläufen durchzuführen. Die prozentuale Angabe der Bestrahlungsstärke bezieht sich auf die Normprüfbedingungen (en: standard test conditions – STC). 100 % entsprechen  $1\,000\text{ W/m}^2$  bei  $25\text{ °C}$ .

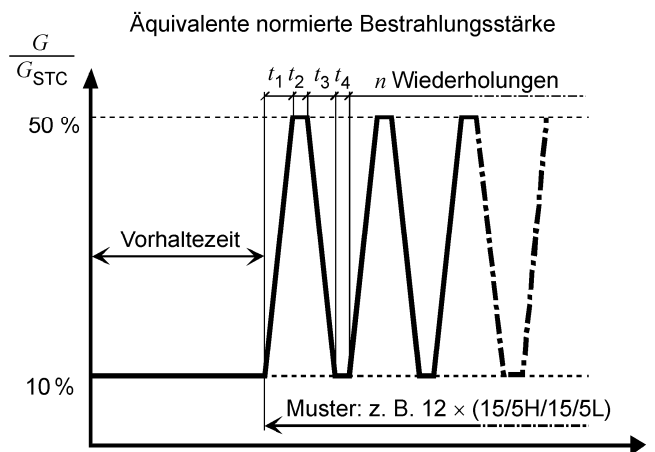


Bild B.1 – Testsequenz für Schwankungen zwischen kleinen und mittleren Bestrahlungsstärken

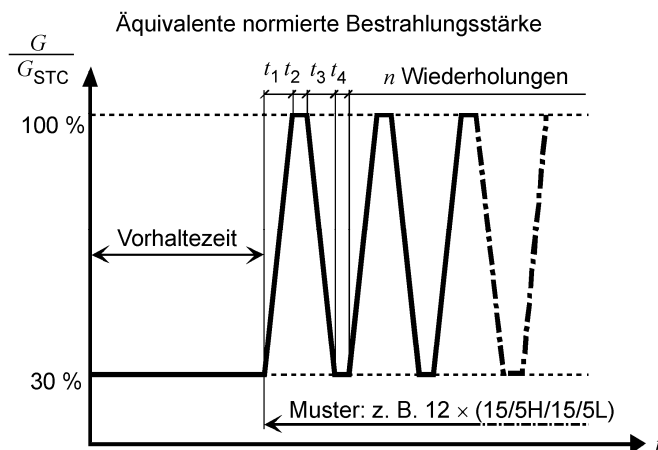


Bild B.2 – Testsequenz für Schwankungen zwischen mittleren und hohen Bestrahlungsstärken

Legende für die Bilder B.1 und B.2

**Beschreibungscode:**  $n$  Wiederholungen, in Klammern die Anstiegszeit  $t_1$ , dann die Verweilzeit  $t_2$  auf einem hohen Niveau (Zahlenwert + H) und die Abfallzeit  $t_3$  und abschließend die Verweilzeit  $t_4$  auf niedrigem Niveau (Zahlenwert + L).